



Susceptibilidad de agregados síliceos a la degradación frente a la reacción álcali - sílice

Maiza, Pedro J. ¹⁻² - Marfil, Silvina A. ¹⁻³

Resumen

Los diferentes tipos de sílice, cuarzo, calcedonia, tridimita, cristobalita y ópalo tienden a degradarse en medio alcalino, por lo que provocan reacciones deletéreas cuando son utilizados como agregado para hormigón. Estos minerales corresponden a variedades de sílice micro, poli o criptocristalina y constituyen rocas tales como arenisca, porcelanita, jaspe, geiserita, flanita, pedernal, chert y algunas de origen orgánico como son diatomita, radiolarita y madera fósil (xilópalo).

En el presente trabajo se estudiaron diferentes variedades de sílice que forman parte de agregados gruesos y finos usados en hormigones de cemento portland. Para ello se trabajó con esteromicroscopio y microscopía de polarización. Se evaluó la morfología que presentan los clastos, textura, presencia de minerales de neoformación, avance del proceso en función de la movilización de la sílice, relación del clasto con el mortero y fenómenos de disolución.

Si bien no se incluye en el presente trabajo, se han utilizado metodologías más específicas para interpretar las variaciones composicionales de los materiales originales y los generados durante el fraguado y envejecimiento del hormigón, tales como SEM, DRX, IR, EDAX y otras.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la reacción álcali - sílice (RAS) en hormigones de cemento portland ha sido ampliamente tratada en la bibliografía mundial (Léger *et al.* 1996; Prezzi *et al.* 1998; Qinhua *et al.* 1997; Rodrigues 1999). En Argentina son numerosos los trabajos publicados sobre el tema a partir de 1960. (Comisión de estudio de la reacción álcali-agregado 1968; Batic *et al.* 1974; Marfil y Maiza 1993 y 2001; Marfil *et al.* 2001). Es aceptado que el fenómeno se produce entre materiales denominados deletéreos y los álcalis provenientes principalmente del cemento, sumado al contacto del hormigón con

humedad, aguas salinas, elevadas temperaturas, etc. Los principales materiales considerados deletéreos son las variedades de sílice criptocristalina, el vidrio volcánico y las rocas volcánicas con pastas vítreas.

En el presente trabajo se estudian agregados constituidos con variedades de sílice metaestable con el propósito de informar acerca del proceso de degradación, los fenómenos de disolución que presentan y los materiales de neoformación que se desarrollan.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con hormigones de obra cuyos agregados contienen especies síliceas deletéreas dentro de sus constituyentes y han manifestado RAS. Se analizó el comportamiento de ágata, calcedonia, cuarzo tensionado (con extinción ondulante) y cuarzo microcristalino. Se utilizó un sistema microscópico Olympus, con procesador de imágenes integrado con un esteromicroscopio

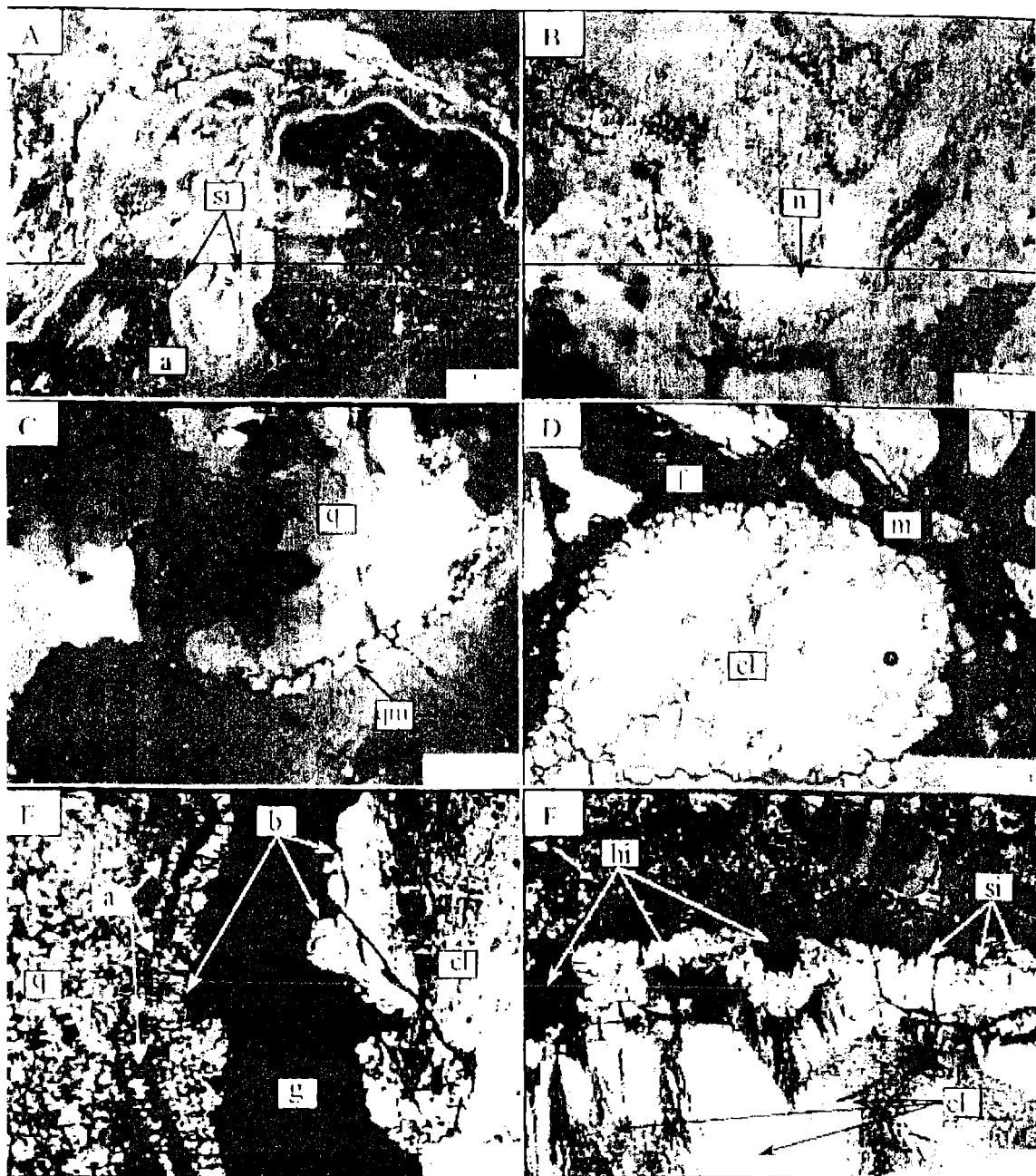
Entregado: 10 de Diciembre de 2002 • Aceptado: 14 de Febrero de 2003

1. Dpto. de Geología, Universidad Nacional del Sur, San Juan 670.
8000 Bahía Blanca, TE 0291-4595184. e-mail: samrfil@criba.edu.ar

2. Investigador Principal CONICET

3. Investigador Adjunto s/d CIC de la Prov. de Bs. As.

1.



microscopio petrográfico Olympus trinocular B2-UMA, cámara de video Sony 151 A incorporada y procesadores Image Pro Plus versión 3.1.

OBSERVACIONES CON ESTEREOMICROSCOPIO

Se trabajó con un hormigón intensamente deteriorado por efecto de la RAS, donde en la composición del agregado predominan clastos de ágata, pedernal y cuarcita. Los clastos de ágata (a) presentan muy avanzada corrosión superficial, evidenciando los fenómenos de lixiviación de sílice. Aumenta la rugosidad superficial y se concentra en sectores del mortero pegados a los clastos (si). (Fig. 1A). En los contactos agregado-mortero es frecuente observar productos de neoformación (n), identificados por DRX como estructuras ceolíticas (Fig. 1B).

cuya composición determinada por EDAX es Si, Al, C y cantidades variables de Ca, Na y/o K.

4. MICROSCOPIA DE POLARIZACIÓN

Las rocas cuarcíticas están constituidas por cuarzo con estructura ondulatoria. Existen métodos ópticos para medir el ángulo de extinción ondulatoria y su valor está vinculado con la reactividad del material. Depende en forma directa del grado de deformación de la roca. Además del ángulo de extinción ondulatoria (AOE), la susceptibilidad a la disolución está estrechamente vinculada al tamaño del grano. El cuarzo microcristalino reacciona mucho más lento. En la Fig. 1E se muestra un clasto de cuarcita (q) con elevado ángulo de extinción ondulatoria, que contiene cuarzo microcristalino.

su borde. Este material es calificado como de reacción lenta en hormigón. La Fig. 1D muestra un clasto de arenisca con cuarzo microcristalino donde es posible observar el contacto con el mortero (m). El cemento y la matrix de la periferia del clasto han sido lixiviados al extremo de desprenderse los granos del cuerpo principal (cl). La sílice aparece precipitada en poros y fracturas (f) de las inmediaciones, en estructuras tipo ceolita.

Las variedades de sílice metaestables tales como tridimita, cristobalita, calcedonia y ópalo, constituyentes de agregados finos y gruesos, presentan fenómenos de disolución de la sílice, la que tiende a movilizarse hacia los bordes en forma de gel. La Fig. 1E corresponde a un clasto de ágata (a) con abundante calcedonia, (cl), la sílice movilizada se concentra en la zona central (amorfa) (g). En el sector izquierdo predomina el cuarzo fino (q). En ambos es posible observar los fenómenos de disolución en las zonas de borde (b).

En la Fig. 1F se observa un clasto de calcedonia (cl) con claras evidencias de disolución con concentración de sílice microcristalina (si) y óxidos de hierro (hi) en las zonas periféricas. El mortero presenta claras evidencias de reacción, con precipitación de óxidos de hierro y cementación con especies de neoformación, modificando su textura original.

Figura 1: A. Clasto de ágata (a) con fenómenos de disolución concentrados en el borde del clasto (si) y desarrollo de productos de reacción. B. Minerales de neoformación (n) en el contacto agregado-mortero. C. Clasto de cuarcita donde se observa el cuarzo (q) con extinción ondulante y cuarzo microcristalino (qm). D. Bordes de disolución en un clasto de arenisca con cuarzo microcristalino. E. Fenómenos de disolución de sílice en clastos de ágata (a) y cuarzo fino (q), con movilización de sílice hacia la zona central amorfa (g). F. Calcedonia (cl) con disolución en la zona de contacto con el mortero donde se concentra sílice microcristalina (si) y óxidos de hierro (hi).

5. CONCLUSIONES

- Los agregados que contienen variedades de sílice metaestable se lixivian liberando sílice al hormigón, debido al pH cercano a 13 que desarrolla el proceso de fraguado y durante su evolución de endurecimiento y su envejecimiento.
- El grado máximo de susceptibilidad es ópalo-cristobalita, disminuyendo hacia calcedonia-tridimita, cuarzo microcristalino y cuarzo con extinción ondulante.
- La sílice solubilizada tiende a concentrarse en las zonas periféricas de los clastos, formando estructuras de silicatos alcalinos, junto con los óxidos de hierro.
- En la morfología externa de los clastos de agregado pueden apreciarse fenómenos de disolución, redondeamiento de aristas agudas y contactos de caries.
- El producto final será sílice amorfa y productos de neoformación tipo ceolitas, dependiendo principalmente de la disponibilidad de álcalis.
- Los productos de reacción tanto en forma de gel como cristalizados, se desarrollan en los bordes de clastos reactivos, en el interior de cavidades de aire accidental y en fracturas. Una vez colmatadas las cavidades comienzan a fisurar el mortero. Las fracturas tienden a ser radiales. Los cristales crecen en forma perpendicular a la longitud de las mismas.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur, al CONICET y a la CIC por el apoyo brindado y al Sr. Rodolfo Salomón por la colaboración en la compaginación de las fotomicrografías.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BATIC, O.; M. WAINZTEIN Y A. INIGUEZ ROGRIGUEZ, 1974.
Estudios y experiencias sobre los agregados para hormigones empleados en la zona de Bahía Blanca en relación a la reactividad alcalina potencial.
Revista Técnica LEMIT. Serie II. N° 257. Anales LEMIT. 227-242.
- COMISIÓN DE ESTUDIO DE LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO, 1968.
Investigación de la reactividad potencial con los álcalis de los cementos de los áridos utilizados normalmente en las obras del gran Buenos Aires y en una parte del litoral norte argentino.
VI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Memoria IV. Doc. 58. 273-280.
- LÉGER, P.; P. CÔTÉ AND R. TINAWI, 1996.
Finite element analysis of concrete swelling due to alkali-aggregate reactions in dams.
Computers & Structures, vol. 60, N° 4, 601-611.
- MARFIL, S. A. Y P. J. MAIZA, 1993.
Zeolite crystallization in portland cement concrete due to alkali-aggregate reaction.
Cement and Concrete Research, vol. 23 N° 6, 1283-1288.
- MARFIL, S. A. AND P. J. MAIZA, 2001.
Deteriorated pavements due to the alkali - silica reaction. A petrographic study of three cases in Argentina.
Cement and Concrete Research, vol. 31. N° 7, 1017-1021.

- MARFIL, S. A.; P. J. MAIZA Y R. C. J. SALOMÓN, 2001.
Pavimentos de hormigón de la ciudad de Bahía Blanca. Su comportamiento frente a la RAS.
Revista de la Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, N° 16, 146-152.
- PREZZI, M.; P. J. MONTEIRO AND G. SPOSITO, 1998.
Alkali-silica reaction. Part 2: The effect of chemical admixtures.
ACI Materials Journal, vol. 25, N° 1, 95-101.
- QINIHUA, J. AND L. WEIQING, 1997.
Investigations on concrete railway ties suffering from alkali-silica reaction.
Cement and Concrete Research, vol. 27, N° 1, 107-113.
- RODRIGUES, E.; P. MONTEIRO AND G. SPOSITO, 1999.
The alkali-silica reaction. The surface charge density of silica and its effect on expansive pressure.
Cement and Concrete Research, vol. 29, 527-530.